Notions et contenus	Capacités exigibles
Décroissance radioactive Stabilité et instabilité des noyaux : diagramme (N,Z), radioactivité α et β, équation d'une réaction nucléaire, lois de conservation. Radioactivité γ.	Déterminer, à partir d'un diagramme (N,Z), les isotopes radioactifs d'un élément. Utiliser des données et les lois de conservation pour écrire l'équation d'une réaction nucléaire et identifier le type de radioactivité.
Évolution temporelle d'une population de noyaux radioactifs ; constante radioactive ; loi de décroissance radioactive ; temps de demi-vie ; activité.	Établir l'expression de l'évolution temporelle de la population de noyaux radioactifs. Exploiter la loi et une courbe de décroissance radioactive. **Capacité mathématique** : Résoudre une équation différentielle linéaire du premier ordre à coefficients constants.
Radioactivité naturelle ; applications à la datation. Applications dans le domaine médical ; protection contre les rayonnements ionisants.	Expliquer le principe de la datation à l'aide de noyaux radioactifs et dater un événement. Citer quelques applications de la radioactivité dans le domaine médical. Citer des méthodes de protection contre les rayonnements ionisants et des facteurs d'influence de ces protections.

Exercices : p. 148 n° 14, 16, 18, 20, p. 149 n° 25, 27, p. 150 n° 28 et p. 151 n° 34.

14 Utiliser un diagramme (N, Z)

1. À l'aide du diagramme (N, Z), donner la formule des noyaux correspondant aux couples de valeurs (N, Z) suivants :
a. (130, 84) **b.** (128, 82) **c.** (21, 19) **d.** (20, 17) **e.** (10, 8)

2. Parmi les isotopes précédents, préciser le type d'émission pour les noyaux radioactifs.

14 Utiliser un diagramme (N, Z)

1. et **2.**

a. (130, 84) : ${}^{214}_{84}\mathrm{Po}$, émetteur α

b. (128, 82) : ${}^{210}_{82}\mathrm{Pb}$, émetteur β^-

c. (21, 19) : ${}^{40}_{19}\mathrm{K}$, émetteur β^-

d. (20, 17) : ${}^{37}_{17}\mathrm{C\ell}$, stable

e. (10, 8) : ${}^{18}_{8}\mathrm{O}$, stable

16 Exploiter la loi de décroissance radioactive

Un échantillon de champignons, récoltés autour de la centrale de Fukushima, contient 10^{18} noyaux de césium 137. Le temps de demi-vie du césium 137 est de 30 ans.

1. Calculer la constante radioactive λ du césium 137 sans oublier l'unité.

2. Calculer le nombre de noyaux restant dans l'échantillon au bout de 100 ans, au bout de 1 000 ans.

16 Exploiter la loi de décroissance radioactive

1. La demi-vie est liée à la constante radioactive par :

$$t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda}, \text{ donc } \lambda = \frac{\ln(2)}{t_{1/2}} = \frac{\ln(2)}{30} = 0{,}023 \text{ années}^{-1}.$$

2. D'après la loi de décroissance : $N(t) = N_0 \times e^{-\lambda t}$

Pour $t = 100$ ans : $N(t = 100 \text{ ans}) = 10^{18} \times e^{-0{,}023 \times 100}$

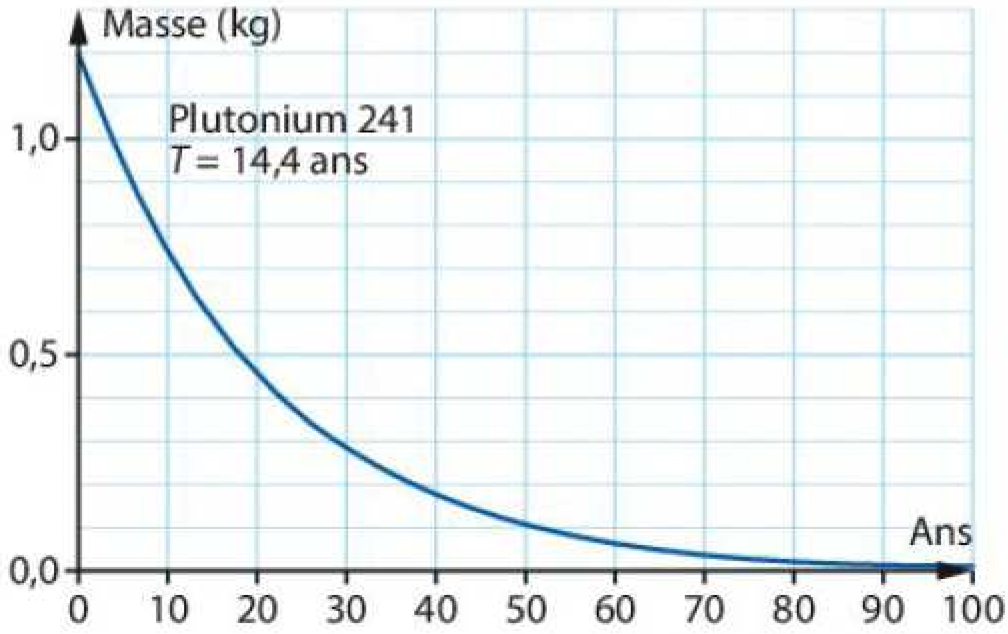
$= 9{,}9.10^{16}$

Pour $t = 1\,000$ ans : $N(t = 1\,000 \text{ ans}) = 10^{18} \times e^{-0{,}023 \times 1000}$

$= 9{,}2.10^{7}$

18 Exploiter une courbe de décroissance radioactive

On donne la courbe de décroissance radioactive d'un isotope du plutonium.



Source : IN2P3, https://in2p3.cnrs.fr/

1. Déterminer la demi-vie de cet isotope radioactif.

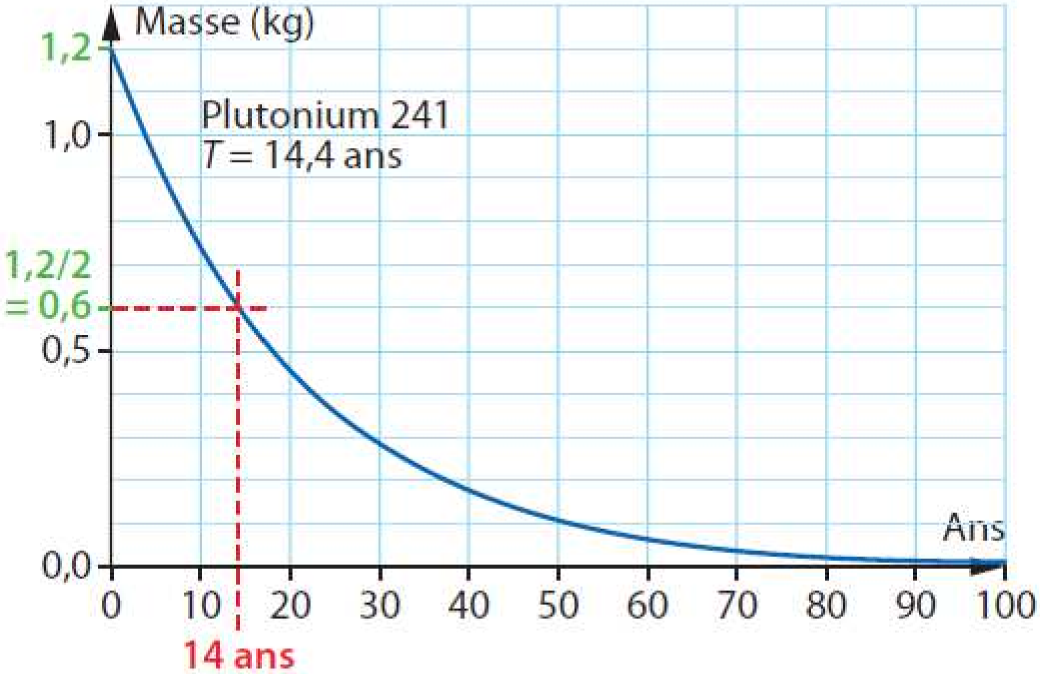
2. Calculer le nombre initial de noyaux de plutonium 241.

3. En déduire le nombre de noyaux restants au bout de 5 ans, puis au bout de 30 ans.

4. À l'aide de la loi de décroissance radioactive, déterminer le temps au bout duquel il restera 10 % des noyaux.

18 Exploiter la loi de décroissance radioactive

1.



La demi-vie du plutonium est 14,4 ans.

2. Initialement (graphiquement), la masse est $m = 1{,}2$ kg et la masse molaire est $M = 241 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.
La quantité de matière est liée à la masse par $n = \dfrac{m}{M}$
et au nombre d'atomes par $n = \dfrac{N}{N_A}$.

D'où : $N_0 = \dfrac{m}{M} \times N_A = \dfrac{1{,}2 \times 10^3}{241} \times 6{,}02 \times 10^{23} = 3{,}0 \times 10^{24}$

Il y avait initialement $3{,}0 \times 10^{24}$ noyaux de plutonium 241.

3. La demi-vie est liée à la constante radioactive par :

$$t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda}, \text{ donc } \lambda = \frac{\ln(2)}{t_{1/2}}.$$

Or, d'après la loi de décroissance :

$$N(t) = N_0 \times e^{-\lambda t}, \text{ donc : } N(t) = N_0 \times e^{-\frac{\ln(2)}{t_{1/2}} \times t}$$

Pour $t = 5$ ans, on a :

$t(5 \text{ ans}) = 3{,}0 \times 10^{24} \times e^{-\frac{\ln(2)}{14{,}4} \times 5} = 2{,}4 \times 10^{24}$

Pour $t = 30$ ans, on a :

$t(30 \text{ ans}) = 3{,}0 \times 10^{24} \times e^{-\frac{\ln(2)}{14{,}4} \times 30} = 7{,}1 \times 10^{23}$

4. $t = -\ln\left(\dfrac{N(t)}{N_0}\right) \times \dfrac{t_{1/2}}{\ln(2)} = -\ln\left(\dfrac{10}{100}\right) \times \dfrac{14{,}4}{\ln(2)} = 47{,}8 \text{ ans}$

20 Dater un événement

L'activité d'un morceau de bois fraîchement coupé est égale à 840 Bq. Un morceau de bois de même nature et de même masse retrouvé dans une tombe égyptienne est de 520 Bq.

1. Écrire la relation entre A_0, $A(t)$, λ et t où A_0 représente l'activité d'un échantillon de bois actuel et $A(t)$, l'activité d'un bois mort ancien.

2. Calculer l'âge du morceau de bois retrouvé dans la tombe.

20 Dater un événement

1. La loi de décroissance de l'activité s'écrit : $A(t) = A_0 \times e^{-\lambda t}$

2. Avec une demi-vie $t_{1/2}$ de 5 730 ans pour le carbone 14, l'âge du morceau de bois retrouvé dans la tombe est :

$$t = -\frac{\ln\left(\frac{A(t)}{A_0}\right)}{\lambda} = -\frac{\ln\left(\frac{A(t)}{A_0}\right)}{\left(\frac{\ln(2)}{t_{1/2}}\right)} = -\frac{\ln\left(\frac{520}{840}\right)}{\left(\frac{\ln(2)}{5\,730}\right)} = 3\,964 \text{ ans}$$

25 Aide p. 150 Injection d'un radioisotope

Exploiter la loi de décroissance radioactive

Le phosphore 32 est injecté en intraveineuse à un patient. La solution injectée a une activité initiale $A_0 = 2{,}60 \times 10^9$ Bq. La demi-vie du phosphore 32 est $t_{1/2} = 14{,}3$ jours.

1. Définir le temps de demi-vie.

2. Calculer la constante de désintégration radioactive du phosphore 32.

3. Écrire la loi de décroissance radioactive du nombre de noyaux radioactifs $N(t)$ dans un échantillon.

4. Montrer que l'activité $A(t)$ est proportionnelle à $N(t)$.

5. Déterminer le nombre N_0 de noyaux injectés au patient.

6. Calculer le temps nécessaire, en jours, pour que le patient ne présente plus qu'une activité égale à 20 % de l'activité initiale.

25 Injection d'un radioisotope

1. $t_{1/2}$ est la durée nécessaire pour que la moitié des noyaux radioactifs initialement présents se soient désintégrés.
Le temps de demi-vie est une caractéristique du noyau radioactif.

2. $t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda}$, d'où : $\lambda = \frac{\ln(2)}{t_{1/2}} = \frac{\ln(2)}{14,3 \times 24 \times 3\,600}$
$= 5,61 \times 10^{-7}\ \text{s}^{-1}$

3. $N(t) = N_0 \times e^{-\lambda t}$

4. $A(t) = -\frac{dN(t)}{dt} = -\frac{d(N_0 \times e^{-\lambda t})}{dt} = N_0 \times \lambda \times e^{-\lambda t} = \lambda \times N(t)$

Le coefficient de proportionnalité est la constante radioactive.

5. À l'instant t_0, on peut écrire que :

$A_0 = \lambda \times N_0$, donc $N_0 = \frac{A_0}{\lambda} = \frac{2,60 \times 10^{9}}{5,61 \times 10^{-7}} = 4,63 \times 10^{15}$ noyaux.

6. $N(t) = N_0 \times e^{-\lambda t}$, donc $t = \frac{\ln\left(\frac{N(t)}{N_0}\right)}{-\lambda} = \frac{\ln\left(\frac{20}{100}\right)}{-5,61 \times 10^{-7}} = 33,2$ jours

27 Aide p. 150 Âge d'une momie

Dater un événement

Pour déterminer la date approximative de la mort d'une momie, on utilise la méthode de datation au carbone 14 (voir Cours p. 142-143).

1. À l'aide du diagramme (N, Z), citer le mode de désintégration de ^{14}C. Écrire l'équation de désintégration de ^{14}C.

2. Donner l'expression de l'activité d'un échantillon de matière radioactive en fonction du temps, de l'activité initiale notée A_0 et de la constante de désintégration $t_{1/2} = 5\,730$ des isotopes présents dans l'échantillon.

3. Montrer, à partir de la formule précédente, que le temps t s'écrit : $-\frac{1}{\lambda} \times \ln\left(\frac{A}{A_0}\right)$

4. La mesure de l'activité en carbone 14 du morceau de cuir trouvé sur la momie donne 0,152 désintégration par seconde et par gramme de carbone. Le nombre de désintégrations par seconde et par gramme de carbone d'un organisme vivant est de 0,210. Calculer l'âge de la momie.

27 Âge d'une momie

1. Le carbone 14 est émetteur β^- : ${}^{14}_{6}C \rightarrow {}^{14}_{7}N + {}^{0}_{-1}e$

2. D'après la loi de décroissance : $A(t) = A_0 \times e^{-\lambda t}$

3. Isoler l'exponentielle : $\frac{A(t)}{A_0} = e^{-\lambda t}$

Par passage au logarithme Népérien : $\ln\left(\frac{A(t)}{A_0}\right) = -\lambda \times t$

D'où : $t = -\frac{1}{\lambda} \times \ln\left(\frac{A(t)}{A_0}\right)$

4. $t = -\frac{1}{\lambda} \times \ln\left(\frac{A(t)}{A_0}\right) = -\frac{5\,730}{\ln(2)} \times \ln\left(\frac{0{,}152}{0{,}210}\right) = 2\,672$ ans

28 Chaîne de désintégration

Déterminer, à partir d'un diagramme (*N*, *Z*), les isotopes radioactifs d'un élément

Le tableau ci-dessous représente une partie du diagramme (*N*, *Z*).

1. Identifier, d'après les codes couleurs, les modes de désintégration des isotopes présents dans le tableau ci-dessus.

2. À l'aide du diagramme (*N*, *Z*), identifier l'isotope radioactif possédant $N = 132$ neutrons et $Z = 82$ protons.

3. Ce noyau est le premier « maillon » d'une chaîne de désintégrations indiquées par des flèches. Donner la formule de chaque isotope de cette chaîne de désintégration.

4. Écrire les équations de désintégration successives permettant d'obtenir le noyau stable (case grisée).

Données : Classification périodique Rabat IV

28 Chaine de désintégration

1. D'après le cours, quand la flèche est vers le bas , le mode de désintégration est α, quand c'est vers le haut le mode est β^-.

2. Le nombre de masse est la somme des protons et neutrons, il s'agit du plomb : $^{214}_{82}Pb$

3. et **4.** La chaîne de désintégration est :

$$^{214}_{82}Pb \xrightarrow{\beta^-} {}^{0}_{-1}e + {}^{214}_{83}Bi$$
$$^{214}_{83}Bi \xrightarrow{\beta^-} {}^{0}_{-1}e + {}^{214}_{84}Po$$
$$^{214}_{84}Po \xrightarrow{\beta^-} {}^{4}_{2}He + {}^{210}_{82}Pb$$
$$^{210}_{82}Pb \xrightarrow{\beta^-} {}^{0}_{-1}e + {}^{210}_{83}Bi$$
$$^{210}_{83}Bi \xrightarrow{\beta^-} {}^{0}_{-1}e + {}^{210}_{84}Po$$
$$^{210}_{84}Po \xrightarrow{\alpha} {}^{4}_{2}He + {}^{206}_{82}Pb$$

34 Datation des roches volcaniques de La Réunion

L'île de La Réunion possède deux massifs volcaniques à l'origine de sa formation : le Piton de la Fournaise et le Piton des Neiges.
Seul le Piton de la Fournaise est encore en activité.
Vous travaillez pour le laboratoire des Sciences et du Climat et êtes chargé de vérifier la cartographie géologique de l'île. L'analyse d'1 g d'échantillon prélevé dans la zone de la Plaine des Caffres montre qu'il contient 6,300 mg de $^{40}_{19}K$ et 0,150 µg de $^{40}_{18}Ar$.

1 Datation des roches par la méthode potassium/argon

Lave en fusion contenant $^{40}_{19}K$

Cristallisation de la roche

10,7 % des noyaux de $^{40}_{19}K$ se désintègrent en $^{40}_{18}Ar$ et le reste en $^{40}_{20}Ca$

Augmentation du nombre de noyaux $^{40}_{18}Ar$
Diminution du nombre de noyaux $^{40}_{19}K$

Date $t = 0$

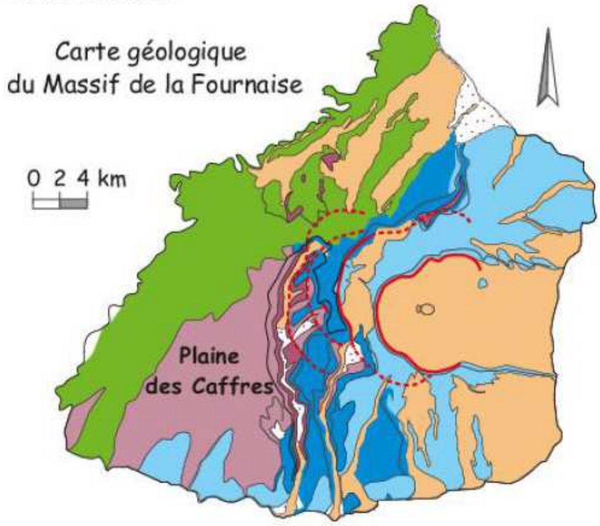
La connaissance du nombre de noyaux actuels de $^{40}_{19}K$ et $^{40}_{18}Ar$ permet de déterminer l'âge de la roche.

Transformations nucléaires impliquées

$^{40}_{19}K \rightarrow {}^{40}_{20}Ca + {}^{0}_{-1}e$ $\quad t_{1/2} = 10^9$ ans émission β^-

$^{40}_{19}K + {}^{0}_{-1}e \rightarrow {}^{40}_{18}Ar$ $\quad t_{1/2} = 1,25 \times 10^9$ ans capture électronique

2 Cartographie géologique du massif du Piton de la Fournaise



▶ En supposant que les masses des noyaux de $^{40}_{19}K$ et $^{40}_{18}Ar$ sont identiques, déterminer l'âge de la roche étudiée et vérifier qu'elle correspond à la zone de prélèvement.

Données : Expression de la masse d'un échantillon :

$m = \frac{N}{N_A} \times M$ avec N_A le nombre d'Avogadro ($N_A = 6,022 \times 10^{23}$ mol^{-1}),
M la masse molaire atomique et N le nombre de noyaux.
$M(Ar) = 39,95$ g · mol^{-1}

Guide de résolution

- Déterminer les nombres actuels de noyaux de $^{40}_{19}K$ et $^{40}_{18}Ar$ à partir des masses.
- Les valeurs des nombres de noyaux doivent être exprimées en notation scientifique avec au minimum 4 chiffres.
- Écrire l'expression donnant le nombre actuel $N(t)$ de noyaux de Potassium en fonction de leur nombre initial N_0 et du nombre actuel de noyaux d'argon.
- Utiliser la loi de décroissance radioactive pour le potassium.
- Déduire l'âge t des roches.

34 Datation des roches volcaniques de la Réunion

- **Calcul du nombre de noyaux à l'instant t :**

Les masses molaires des deux noyaux sont sensiblement égales car ils ont le même nombre de nucléons :

$$N_{^{40}_{19}K}(t) = \frac{m(^{19}_{40}K) \times N_A}{M} = \frac{6{,}300 \times 10^{-3} \times 6{,}022 \times 10^{23}}{39{,}95}$$
$$= 9{,}497 \times 10^{19} \text{ noyaux.}$$

$$N_{^{40}_{18}Ar}(t) = \frac{m(^{40}_{18}Ar) \times N_A}{M} = \frac{0{,}150 \times 10^{-6} \times 6{,}022 \times 10^{23}}{39{,}95}$$
$$= 2{,}261 \times 10^{15} \text{ noyaux.}$$

- **Calcul du nombre de noyaux de $^{40}_{19}K$ de désintégrés après cristallisation de la roche :**

D'après l'énoncé 10,7 % des noyaux de $^{40}_{19}K$ se désintègrent en $^{40}_{18}Ar$.

Or le nombre de noyaux d'argon 40 formés à l'instant t est connu (voir calcul précédent).

Donc : $N(^{40}_{19}K)_{\text{désintégrés}} \times \dfrac{10{,}7}{100} = N(^{40}_{18}Ar)_t$

$$N(^{40}_{19}K)_{\text{désintégrés}} = N(^{40}_{18}Ar)_t \times \frac{100}{10{,}7} = 2{,}261 \times 10^{15} \times \frac{100}{10{,}7}$$
$$= 2{,}113 \times 10^{16} \text{ noyaux}$$

- **Nombre de noyaux de $^{40}_{19}K$ initialement présents au début, avant les désintégrations, soit N_0 :**

$$N_0 = (^{40}_{18}K)_{\text{désintégrés}} + N(^{40}_{19}K)_t$$

$$N_0 = 2{,}113 \times 10^{16} + 9{,}497 \times 10^{19} = 9{,}499 \times 10^{19} \text{ noyaux}$$

- **Calcul de l'âge des roches :**

D'après la loi de décroissance radioactive : $N(t) = N_0 \times e^{-\lambda t}$

Soit $\dfrac{N(t)}{N_0} = e^{-\lambda t}$ et par passage au logarithme Népérien :

$$\ln\left(\frac{N(t)}{N_0}\right) = -\lambda \times t$$

D'où : $t = -\dfrac{1}{\lambda} \times \ln\left(\dfrac{N(t)}{N_0}\right)$ avec $\dfrac{1}{\lambda} = \dfrac{t_{1/2}}{\ln(2)}$.

$$t = \frac{t_{1/2}}{\ln(2)} \times \ln\left(\frac{N(t)}{N_0}\right) = -\frac{1{,}25 \times 10^9}{\ln(2)} \times \ln\left(\frac{9{,}497 \times 10^{19}}{9{,}499 \times 10^{19}}\right)$$
$$= 3{,}80 \times 10^5 \text{ années.}$$